

# Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2000021671  
PUBLICATION DATE : 21-01-00

APPLICATION DATE : 06-07-98  
APPLICATION NUMBER : 10190688

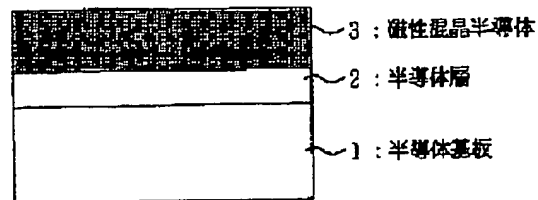
APPLICANT : JAPAN SCIENCE & TECHNOLOGY  
CORP;

INVENTOR : TANAKA MASAOKI;

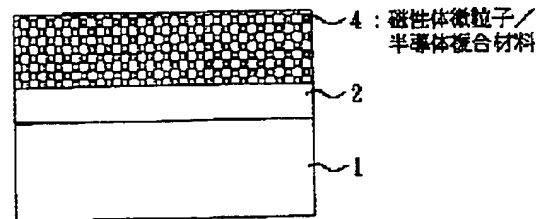
INT.CL. : H01F 41/28 H01L 21/203

TITLE : MANUFACTURE OF  
MAGNETO-OPTICAL DEVICE AND THE  
DEVICE

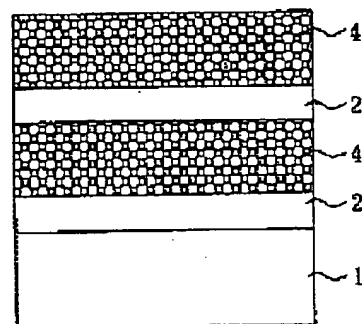
(a)



(b)



(c)



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a manufacturing method of a magneto-optical device, using magneto-optical effect, which can be integrated with a semiconductor optical device by forming a magnetic body particulate/semiconductor compound material and stacking the compound material on a semiconductor substrate by combining a crystal growing method, which has strong non-balance growth conditions and a heat treatment after the growth and the magnet-optical device.

SOLUTION: On a semiconductor substrate 1, a magnetic mixed crystal semiconductor 3 is formed through epitaxial growth across a semiconductor layer 2, and a heat treatment is carried out in or after the epitaxial growth to form a magnetic body particulate/semiconductor compound material 4, having ferromagnetic particulates embedded in the semiconductor. This process is repeated to form a multilayered heterostructure which includes a magnetic body particulate/semiconductor compound structure.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-21671

(P2000-21671A)

(43)公開日 平成12年1月21日(2000.1.21)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード(参考)

H 0 1 F 41/28

H 0 1 F 41/28

5 E 0 4 9

H 0 1 L 21/203

H 0 1 L 21/203

M 5 F 1 0 3

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 6 頁)

(21)出願番号

特願平10-190688

(22)出願日

平成10年7月6日(1998.7.6)

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72)発明者 田中 雅明

埼玉県浦和市大字井沼方647-6-201

(74)代理人 100089635

弁理士 清水 守

Fターム(参考) 5E049 AA01 AA04 AA07 BA22 MC03

5F103 AA04 DD01 DD03 DD11 DD16

DD30 GG01 KK10 LL01 LL20

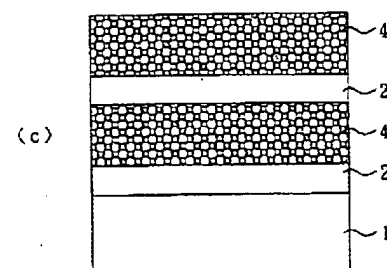
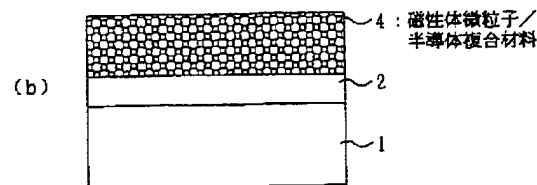
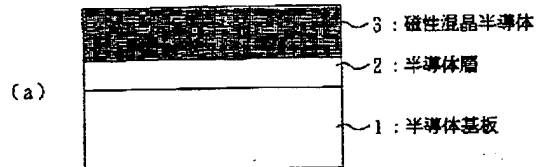
PP03 RR10

(54)【発明の名称】 磁気光学装置の製造方法及びその磁気光学装置

(57)【要約】

【課題】 強い非平衡成長条件を有する結晶成長法と成長後の熱処理を組み合わせることにより、磁性体微粒子／半導体複合材料を形成し、この複合材料を半導体基板上に積層することにより、半導体光デバイスと集積化が可能な磁気光学効果を用いた磁気光学装置の製造方法及びその磁気光学装置を提供する。

【解決手段】 半導体基板1上に半導体層2を介して、磁性混晶半導体3をエピタキシャル成長させ、前記エピタキシャル成長中または成長後に熱処理することにより、半導体中に強磁性微粒子が埋め込まれた磁性体微粒子／半導体複合材料4を形成する。このプロセスを繰り返すことにより、磁性体微粒子／半導体複合構造を含む多層のヘテロ構造を形成することもできる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 (a) 半導体基板上に半導体層を介して、磁性混晶半導体をエピタキシャル成長させる工程と、

(b) 前記エピタキシャル成長中または成長後に熱処理することにより、半導体中に強磁性微粒子が埋め込まれた磁性体微粒子／半導体複合材料を形成する工程とを施すことを特徴とする磁気光学装置の製造方法。

【請求項2】 請求項1記載の磁気光学装置の製造方法において、前記エピタキシャル成長は、強い非平衡成長条件を有する結晶成長法によることを特徴とする磁気光学装置の製造方法。

【請求項3】 請求項2記載の磁気光学装置の製造方法において、前記結晶成長法は、低温成長分子線エピタキシー法であることを特徴とする磁気光学装置の製造方法。

【請求項4】 請求項1記載の磁気光学装置の製造方法において、前記エピタキシャル成長によって、半導体中に大量の磁性イオンを固溶させることを特徴とする磁気光学装置の製造方法。

【請求項5】 請求項1記載の磁気光学装置の製造方法において、前記磁性体微粒子の大きさは、磁性イオンの濃度と熱処理温度によって制御可能にすることを特徴とする磁気光学装置の製造方法。

【請求項6】 請求項5記載の磁気光学装置の製造方法において、前記磁性体微粒子／半導体複合材料は、半導体と強磁性体の性質を併せ持ち、室温での磁気・磁気光学特性を制御可能であることを特徴とする磁気光学装置の製造方法。

【請求項7】 屈折率の低い半導体層と屈折率の高い半導体光導波路層の界面あるいは導波路層中に、磁性体微粒子／半導体複合材料を有する磁気光学層を挿入し、その屈折率差によって、光は半導体光導波路層に閉じ込められ、導波路になるが、強い磁気光学効果をもつ前記磁性体微粒子／半導体複合材料を有する磁気光学層によって、ファラデー効果を生成することを特徴とする磁気光学装置。

【請求項8】 屈折率の低い半導体層と屈折率の高い半導体光導波路層の界面に、磁性体微粒子／半導体複合材料を有する磁気光学層を挿入し、その屈折率差によって、光は半導体光導波路層に閉じ込められ、導波路になるが、強い磁気光学効果をもつ前記磁性体微粒子／半導体複合材料を有する磁気光学層を半導体レーザの出力側導波路に接続させて集積化させ、磁場によって波長可変な半導体発光素子からなることを特徴とする磁気光学装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、磁性体微粒子／半導体複合材料を用いた磁気光学装置（磁気光学デバイス）の製造方法及びその磁気光学装置に関するものであ

る。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、このような分野の技術としては、例えば本願発明者の提案にかかる以下に開示されるようなものがあった。

〔1〕 田中 雅明、林 稔晶、西永 頌、島田 宏 “II I-V 族希薄磁性半導体 GaMnAs のエピタキシャル成長と磁性・電気伝導特性” 日本応用磁気学会誌、21, pp. 393-396 (1997)。

〔2〕 T. Hayashi, M. Tanaka, T. Nishinaga and H. Shimada “GaMnAs: New III-V Based Diluted Magnetic Semiconductors Grown by Molecular Beam Epitaxy” J. of Crystal Growth 175/176, pp. 1063-1068 (1997)。

〔3〕 Masaaki Tanaka “Epitaxial Ferromagnetic Thin Films and Heterostructures of Mn-based Metallic and Semiconducting Compounds on GaAs”, Institute of Electrical Engineers of Japan, MAG97-189, pp. 31-38, Ryukyu University, November 1997. [田中 雅明 “磁性体／半導体ハイブリッド構造の形成とその物性” 電気学会マグネティクス研究会, MAG-97-189, pp. 31-38, 琉球大学, 1997年11月]

上記論文〔1〕及び〔2〕には、いずれも磁性半導体 (GaMn) As の製造方法、その構造評価、電気伝導、磁気的性質等について述べている。

【0003】 また、上記論文〔3〕には、磁性半導体 (GaMn) As / 非磁性半導体 (AlAs) からなる超格子の製造法、構造評価、電気伝導、磁気的性質について述べている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 本願発明者は、上記したような磁性半導体 (GaMn) As / 非磁性半導体 (AlAs) からなる超格子を更に発展させて、磁性体微粒子／半導体複合材料を用いた磁気光学装置を開発した。本発明は、上記状況に鑑みて、強い非平衡成長条件を有する結晶成長法と成長後の熱処理を組み合わせることにより、磁性体微粒子／半導体複合材料を形成し、この複合材料を半導体基板上に積層することにより、半導体光デバイスと集積化が可能な磁気光学効果を用いた磁気光学装置の製造方法及びその磁気光学装置を提供することを目的とする。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達成するために、

〔1〕磁気光学装置の製造方法において、半導体基板上に半導体層を介して、磁性混晶半導体をエピタキシャル成長させる工程と、前記エピタキシャル成長中または成長後に熱処理することにより、半導体中に強磁性微粒子が埋め込まれた磁性体微粒子／半導体複合材料を形成する工程とを施すようにしたものである。

【0006】〔2〕上記〔1〕記載の磁気光学装置の製造方法において、前記エピタキシャル成長は、強い非平衡成長条件を有する結晶成長法による。

〔3〕上記〔2〕記載の磁気光学装置の製造方法において、前記結晶成長法は、低温成長分子線エピタキシー法である。

〔4〕上記〔1〕記載の磁気光学装置の製造方法において、前記エピタキシャル成長によって、半導体中に大量の磁性イオンを固溶させるようにしたものである。

【0007】〔5〕上記〔1〕記載の磁気光学装置の製造方法において、前記磁性体微粒子の大きさは、磁性イオンの濃度と熱処理温度によって制御可能にするようにしたものである。

〔6〕上記〔5〕記載の磁気光学装置の製造方法において、前記磁性体微粒子／半導体複合材料は、半導体と強磁性体の性質を併せ持ち、室温での磁気・磁気光学特性を制御可能である。

【0008】〔7〕磁気光学装置において、屈折率の低い半導体層と屈折率の高い半導体光導波路層の界面あるいは導波路層中に、磁性体微粒子／半導体複合材料を有する磁気光学層を挿入し、その屈折率差によって、光は半導体光導波路層に閉じ込められ、導波路になるが、強い磁気光学効果をもつ前記磁性体微粒子／半導体複合材料を有する磁気光学層によって、ファラデー効果を生成するようにしたものである。

【0009】〔8〕磁気光学装置において、屈折率の低い半導体層と屈折率の高い半導体光導波路層の界面に、磁性体微粒子／半導体複合材料を有する磁気光学層を挿入し、その屈折率差によって、光は半導体光導波路層に閉じ込められ、導波路になるが、強い磁気光学効果をもつ前記磁性体微粒子／半導体複合材料を有する磁気光学層を半導体レーザの出力側導波路に接続させて集積化させ、磁場によって波長可変な半導体発光素子からなる。磁場によって発光波長を可変な半導体素子は、例えば半導体レーザの活性層付近に、磁性体微粒子／半導体複合材料を挿入することによって、この層のもつ大きな磁気光学効果を通して外部磁場で発振波長を変えることができるようにしたものである。

【0010】本発明によれば、上記したように、強い非平衡成長条件を有する結晶成長法と成長後のアニールを組み合わせてすることにより、磁性体微粒子／半導体複合材料を形成することができる。この複合材料を用いて半導

体と集積化することにより、磁気光学効果を用いたデバイス、高性能非相反光デバイス等の新規な磁気光学デバイスが得られることを見出した。特に、磁性微粒子を任意の位置に含む半導体ヘテロ構造により設計自由度の大きい磁気光学デバイスが可能となったものである。これらの新規デバイスは室温において動作可能で、従来の半導体光デバイスとも集積化が可能であるなど、これまでにない特徴を有している。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図を参照しながら詳細に説明する。図1は本発明の実施例を示す磁性体微粒子／半導体複合材料を用いた磁気光学デバイスの製造工程断面図である。

(1) まず、図1(a)に示すように、半導体基板1上に半導体層2を介して、磁性混晶半導体3をエピタキシャル成長させる。

【0012】ここで、磁性混晶半導体層のエピタキシャル成長は、強い非平衡成長条件を有する結晶成長法（例えば、低温成長分子線エピタキシー法）による。つまり、強い非平衡成長条件を有する結晶成長法（例えば、低温成長分子線エピタキシー法）によって、Si, GaAs, InP, InGaAsなどの半導体中に大量の磁性イオン（Fe, Mn, Co, Niなど）を固溶させる。

【0013】このような、強い非平衡成長条件を用いると、固溶限界（約0.01%程度）を越える濃度の大量の磁性イオン（数%）を半導体中に混入させた新しい混晶半導体を作製することが可能である。

(2) 次に、成長中または成長後にアニール（熱処理）することにより、図1(b)に示すように、半導体基板1及び半導体層2上に磁性体微粒子／半導体複合材料4を形成する。

【0014】この熱処理によって、半導体中に単独の原子（またはイオン）として存在した磁性元素は、半導体の一部の構成元素を取り込んで強磁性化合物の微粒子となる。すなわち、半導体中に強磁性微粒子が埋め込まれた磁性体微粒子／半導体複合材料系が作製できる。強磁性微粒子の大きさは、元々の磁性イオンの濃度と熱処理温度（300℃～800℃）によって制御できる。例えばGaAs-MnAs微粒子から成る複合材料系の場合、1nm程度から数μm程度まで可変である。

【0015】上記した図1(a), 図1(b)に示すようなプロセスを繰り返すことによって、図1(c)に示すような磁性体微粒子を任意の位置に含む多層の複合材料を形成することもできる。このようにして製造された磁性体微粒子／半導体複合材料を用いた磁気光学デバイスの結晶性と磁気的特性について説明する。

【0016】図2は本発明の磁気光学デバイスの複合構造中における半導体と磁性体微粒子の単結晶性を示すX線回折スペクトル特性図である。この図において、横軸

は $2\theta$  ( $\theta$ はX線の入射角度)、縦軸はX線回折強度(相対単位)である。この図から明らかなように、複合構造中における半導体と磁性体微粒子は、両方ともに良好な単結晶性を保っていることが明らかである。

【0017】また、磁性体微粒子-半導体複合材料系は、アニール(熱処理)の温度や時間を変えることによって、飽和磁化の値が大きくなり、磁気的特性を大幅に変えることができる。図3は本発明の実施例を示す磁性混晶半導体(GaAs)Mnの熱処理前、およびMnAs磁性体微粒子の熱処理後の室温における磁化特性の一例を示す図である。

【0018】この図から明らかなように、MnAs磁性体微粒子の熱処理により、磁化特性の向上を図ることができる。また、磁気光学効果も大きく変えることができる。図4は本発明の実施例を示すGaAsマトリックス中に埋め込まれたMnAs磁性体微粒子の磁気円二色性(magnetic circular dichroism, MCD)のスペクトルを示す図である。ここで、横軸は光子エネルギー(eV)、縦軸はMCD(mdeg)である。

【0019】この図に示すように、反射光を用いて測定した磁気円二色性(MCD)のスペクトルを比べてみると、スペクトル形状、強度ともに大きく変化している。したがって、製造条件を変えることにより、構造を変えることのみならず、室温における磁気的特性および磁気光学効果を変える(制御する)ことが可能になる。

【0020】このように、半導体と強磁性体の性質を併せ持ち、室温での磁気・磁気光学特性を制御可能であることが、この材料系の特徴である。これに対して、従来の磁性半導体では、強磁性転移温度が低いために、室温で磁気・磁気光学特性を制御するとはできなかった。次に、ヘテロ構造を利用した新しい磁気光学デバイスについて説明する。

【0021】従来の非磁性の半導体材料では、原子レベルでの膜厚制御性をもつ分子線エピタキシーなど結晶成長技術を用いて、超格子・ヘテロ構造を作製することができる。上記の磁性体微粒子-半導体複合材料系は、きわめて結晶性が良好であり、エピタキシャル成長を用いて作製しているので、容易にヘテロ構造や超格子を作製し、室温で磁性が強く現れる半導体ヘテロ構造を形成することができる。

【0022】その半導体ヘテロ構造の作製方法は、まず、低温分子線エピタキシーのような非平衡結晶成長を用いて、非磁性半導体と磁性混晶半導体から成るヘテロ構造を成長させ、続いて熱処理すると磁性混晶半導体の部分だけに磁性微粒子が形成される。磁性微粒子は結晶中を拡散して動くことはないので、この方法によって、磁性微粒子を任意の位置に含む半導体ヘテロ構造が形成される。

【0023】これによって、もともと非磁性材料で構成

されていた半導体ヘテロ構造の世界に、磁性(あるいはスピンの効果)という新たな自由度をもたらす(しかも室温において)ことが可能になり、様々なデバイス応用が可能になる。以下、かかる磁性体微粒子/半導体複合材料系を用いたデバイス応用例について説明する。

【0024】磁性体微粒子-半導体複合材料系(Ferromagnetic Particles-Semiconductor Hybrid Materials, ここでは簡単のためFP-Sと称す)を用いたデバイス応用例をいくつか示す。

#### (1) 導波路構造をもつファラデー回転素子

図5は本発明の実施例を示す導波路構造をもつファラデー回転素子の模式図であり、図5(a)はその基本構造の断面図、図5(b)はその変形例を示す断面図である。

【0025】図5(a)に示すように、屈折率の低い半導体層11(例えばAlGaAs)、屈折率の高い半導体光導波路層13(例えばGaAs、InGaAs)の界面に、FP-S(例えば、GaAs-MnAs)層12を挿入する。屈折率差によって、光は半導体導波路層13に閉じ込められ、14に示すような光の強度分布もつ導波路になるが、強い磁気光学効果をもつFP-S層12の影響によって、ファラデー効果が生じる。FP-S層12を屈折率の低い半導体層11と屈折率の高い半導体光導波路層13の界面に挿入することによって、損失の増大を防いだ構造となっている。

【0026】また、図5(b)に示すように、屈折率の低い半導体光導波路層13の中に非常に薄い(数nm程度)のFP-S層12A、12B、12C、12D、...を数層挿入する。光は半導体光導波路層13中に閉じ込められ、図5(a)と同様に、14に示す光の強度分布を持つ導波路になるが、強い磁気光学効果を持つFP-S層の影響でファラデー効果が生じる。各FP-S層の厚さを非常に薄くすることによって損失を防ぎ、導波路中に数層用いることによって、ファラデー効果を大きくする構造となっている。

【0027】この導波路構造をもつファラデー回転素子の長所は、半導体基板上に形成した磁性体を含む導波路であり、従来の半導体光デバイスとの整合性に優れていること、各層の膜厚、組成、磁性体の濃度など設計自由度が大きいこと、室温でも大きなファラデー効果が期待できることなどである。

#### (2) 光アイソレータ

図6は本発明の実施例を示す光デバイスと同一基板上に集積化した光アイソレータを示す斜視図であり、図6

(a)はそのリッジ導波型デバイスの斜視図、図6

(b)はその埋込み型導波型デバイスの斜視図である。

【0028】これらの図に示すように、半導体レーザ21A、21Bなど光デバイスと同一基板20A、20B上で集積化した半導体レーザ21A、21Bの出力側導

波路に接続させたファラデー回転素子からなる導波路型光アイソレータ22A、22Bを設ける。このように、半導体基板上に小型の光アイソレータを作製することができる。

【0029】従来は、アイソレータは、半導体レーザと全く別個の部品であったが、この実施例によれば、集積化することにより、コンパクトになるとともに、コストを下げることができる。

(3) 磁場によって波長可変な半導体発光デバイス  
図7は本発明の実施例を示す磁場によって波長可変な半導体発光デバイスの模式図である。なお、上記した実施例と同じ部分については、同じ符号を付してそれらの説明は省略する。

【0030】この図に示すように、半導体レーザの活性層31付近に、FP-S層32を埋め込むことにより、磁気光学効果を通して発振波長を制御することが可能となる。半導体レーザの発光は、導波路を伝搬するが、その際にFP-S層32の影響を受け、FP-S層32の磁化に比例して波長がシフトする。FP-S層32の磁化は、印加した磁場によって連続的に変えることが可能なので、レーザの発振波長を外部磁場で制御することができる。すなわち波長可変な半導体レーザができる。

【0031】なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

【0032】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明によれば、次のような効果を奏することができる。

(A) 機能の複合化を図ることができる。つまり、磁性体と半導体という全く異なる材料の特性を組み合わせることができる。その磁性体微粒子/半導体複合材料は、磁性体と半導体両方の機能を合わせ持つ。

【0033】(B) 結晶性が良好である。つまり、全て単結晶からなる材料系であり、構造欠陥が少ない。

(C) 原子レベルでの構造制御性を有する。つまり、膜厚、微粒子サイズなど構造パラメータを原子レベルで制御可能である。

(D) 各種のデバイス応用が可能である。つまり、半導体と集積化が可能な磁気光学効果を用いたデバイス、高性能非相反光デバイスへの応用が可能である。特に、半導体ヘテロ構造と組み合わせることにより、この複合材料系の設計自由度が大幅に拡大される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例を示す磁性体微粒子/半導体複合材料を用いた磁気光学デバイスの製造工程断面図である。

【図2】本発明の磁気光学デバイスの複合構造中における半導体と磁性体微粒子の単結晶性を示すX線回折スペクトル特性図である。

【図3】本発明の実施例を示す磁性混晶半導体(GaAs)Mnの熱処理前、およびMnAs磁性体微粒子の熱処理後の室温における磁化特性の一例を示す図である。

【図4】本発明の実施例を示すGaAsマトリックス中に埋め込まれたMnAs磁性体微粒子の磁気円二色性(MCD)のスペクトルを示す図である。

【図5】本発明の実施例を示す導波路構造をもつファラデー回転素子の模式図である。

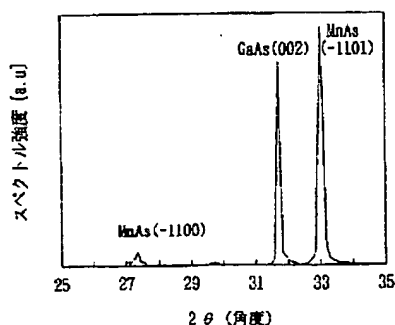
【図6】本発明の実施例を示す光デバイスと同一基板上に集積化した光アイソレータを示す斜視図である。

【図7】本発明の実施例を示す磁場によって波長可変な半導体発光デバイスの模式図である。

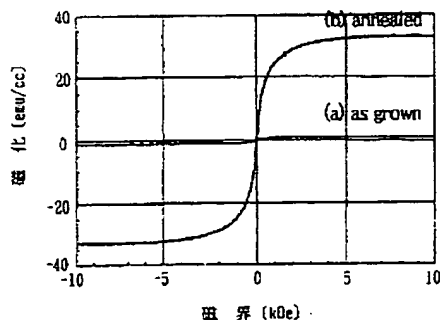
【符号の説明】

- 1 半導体基板
- 2 半導体層
- 3 磁性混晶半導体
- 4, 32 磁性体微粒子/半導体複合材料
- 11 屈折率の低い半導体層
- 12, 12A~12D, 32 FP-S層
- 13 屈折率の高い半導体光導波路層
- 14 導波路における光の強度分布
- 20A, 20B 同一基板
- 21A, 21B 半導体レーザ
- 22A, 22B 導波路型光アイソレータ
- 31 半導体レーザの活性層

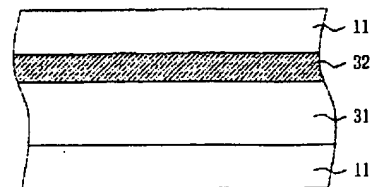
【図2】



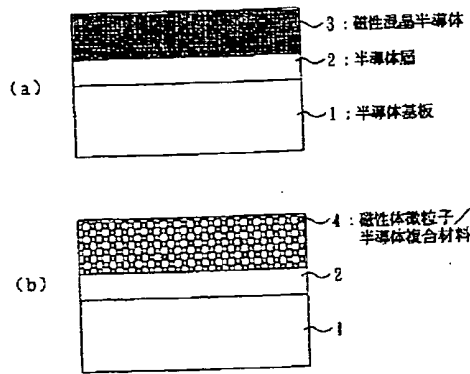
【図3】



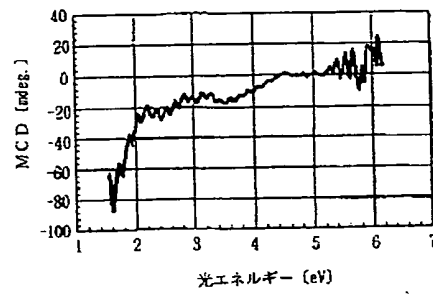
【図7】



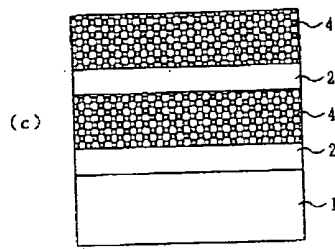
【図1】



【図4】



【図6】



【図5】

